



REC'D 16 JUN 2003

WIPO

PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

**Aktenzeichen:** 102 10 421.2

**Anmeldetag:** 6. März 2002

**Anmelder/Inhaber:** Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., München/DE; Kjellberg Finsterwalde Elektroden und Maschinen GmbH, Finsterwalde/DE; FNE Forschungsinstitut für Nichteisen-Metalle Freiberg GmbH, Freiberg/DE.

Erstanmelder:

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., München/DE

**Bezeichnung:** Elektrodenelement für Plasmabrenner sowie Verfahren zur Herstellung

**IPC:** H 05 H 1/26

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 28. März 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident

Im Auftrag

Faust

Pfenning, Meinig & Partner GbR

Patentanwälte

European Patent Attorneys

European Trademark Attorneys

Dipl.-Ing. J. Pfenning (-1994)

Dipl.-Phys. K. H. Meinig (-1995)

Dr.-Ing. A. Butenschön, München

Dipl.-Ing. J. Bergmann\*, Berlin

Dipl.-Chem. Dr. H. Reitzle, München

Dipl.-Ing. U. Grambow, Dresden

Dipl.-Phys. Dr. H. Gleiter, München

Dr.-Ing. S. Golkowsky\*\*, Berlin

\*auch Rechtsanwalt  
\*\*nicht Eur. Pat. Att.

80336 München, Mozartstraße 17

Telefon: 089/530 93 36

Telefax: 089/53 22 29

e-mail: muc@pmp-patent.de

10719 Berlin, Joachimstaler Str. 10-12

Telefon: 030/88 44 810

Telefax: 030/881 36 89

e-mail: bln@pmp-patent.de

01217 Dresden, Gostritzer Str. 61-63

Telefon: 03 51/87 18 160

Telefax: 03 51/87 18 162

e-mail: dd@pmp-patent.de

Dresden.

6. März 2002

01/37460-EPW

FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT zur  
Förderung der angewandten  
Forschung e.V.  
Leonrodstraße 54  
80636 München

---

Elektrodenelement für Plasmabrenner sowie Verfahren zur  
Herstellung

---

FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

Elektrodenelement für Plasmabrenner sowie Verfahren  
zur Herstellung

5 Die Erfindung betrifft ein Elektrodenelement für  
Plasmabrenner sowie ein Herstellungsverfahren für  
solche Elektrodenelemente. Ein solches Elektroden-  
element ist besonders für das Plasmaschneiden, bei dem  
als Plasmagas Sauerstoff Verwendung findet, geeignet.

10 Solche Elektroden sind beim Einsatz in Plasmabrennern  
thermisch und elektrisch sehr hoch beansprucht, so  
dass sie nur begrenzte Lebensdauern erreichen und ein  
kostenaufwändiger Austausch der Elektroden in mehr  
oder weniger langen Zeitabständen erforderlich ist.

15 Insbesondere die hohe thermische Belastung durch Tem-  
peraturen bis zu 50000 Kelvin erfordern eine geeigne-  
te Konstruktion und eine geeignete Auswahl der für  
eine solche Elektrode verwendeten Materialien.

20

So werden bisher für das Plasmaschneiden, unter Verwendung von Sauerstoff als Plasmagas, Elektroden, die im Wesentlichen aus Hafnium bestehen, mit einer Schmelztemperatur im Bereich von 2220 °C eingesetzt. Hafnium weist eine im Gegensatz zu vielen anderen elektrisch leitenden Metallen niedrige Austrittsarbeit auf, so dass es für den Einsatz besonders geeignet ist.

In der Regel werden solche stiftförmigen Hafniumelektroden mit einer Kupferfassung eingesetzt und dabei die hohe thermische und elektrische Leitfähigkeit des Kupfers ausgenutzt.

Bei einer solchen Ausbildung muss jedoch die elektrische Stromkorrosion (Elektromigration) und Diffusion, die den Übergangswiderstand zwischen dem Hafnium und dem Kupfer dann vergrößert, klein gehalten werden.

Insbesondere beim Plasmaschneiden mit oxidierenden Gasen, wie dies der bereits erwähnte Sauerstoff ist, tritt beim Kupfer eine Oxidation auf, so dass die thermische Leitfähigkeit und der elektrische Übergangswiderstand zwischen Kupfer und Hafnium negativ beeinflusst werden.

Infolge einer hohen Stromkorrosion und Oxidation ergibt sich eine erhöhte Leistungsumsetzung an den Grenzen zwischen dem Hafnium und dem Kupfer, so dass die Prozesse der Alterung beschleunigt fortschreiten.

Durch die verstärkte Bildung von Kupferoxid auf dem Kupfermantel bei höheren Temperaturen in unmittelbarer Nähe des Hafniumkerns wird zusätzlich die Austrittsarbeit des Kupfers verringert und es können demzufolge auch aus dem Kupferelektronen emittiert

werden. Dadurch kommt es zu einem örtlichen Aufschmelzen des Kupfers und demzufolge zur Unbrauchbarkeit einer solchen Plasmaelektrode.

5 Um diesen Problemen entgegen zu wirken, wird nach dem Stand der Technik Silber oder eine Silberlegierung eingesetzt. Silber weist ebenfalls gute thermische und elektrische Leitfähigkeiten sowie eine höhere Austrittsarbeit auf. Insbesondere ist die Oxidbildung bei Silber gegenüber Kupfer bei höheren Temperaturen geringer.

10 Eine entsprechende Lösung ist in EP 0 980 197 A2 beschrieben. Dabei soll ein Kupferhalter Verwendung finden, in den in eine als Sackloch ausgebildete Aufnahme eine Silberhülse, die aus einer ausgewählten Silberlegierung besteht und einen in das Innere des Kupferhalters weisenden geschlossenen Boden aufweist, eingepresst werden.

20 In diese Silberhülse wird dann wieder eine stiftförmige Elektrode aus Hafnium eingepresst.

30 Ein solcher Aufbau weist mehrere Nachteile auf. Dies betrifft zum einen die aufwendige Herstellung, bei der die einzelnen Elemente gesondert und teilweise durch zerspanende Bearbeitung gefertigt werden müssen. Die drei einzelnen Teile müssen dann zu einem Element zusammengefügt werden, wobei hohe Anforderungen beim Fügen und dem Handling wegen der relativ kleinformatischen Silberhülse und dem Hafniumstift erfüllt werden müssen. Außerdem muss das mechanische Einpressen der Silberhülse und des Hafniumstiftes sehr sorgfältig durchgeführt werden.

35 Trotzdem kann lediglich ein lokal begrenzter Kontakt

zwischen Kupfer, Silber und Hafnium erreicht werden, so dass sich insbesondere diese punktförmigen Berührungen negativ in Bezug auf die bereits erwähnte Stromkorrosion auswirken und selbstverständlich auch die Wärmeleitfähigkeit entsprechend negativ beeinflusst wird.

Dementsprechend werden mit einer solchen Lösung die gegenüber bis dahin bekannten für Plasmabrenner genutzten Elektroden geringfügig erhöhte Lebensdauer durch deutlich höhere Herstellungskosten weitestgehend kompensiert.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, Elektrodenelemente für Plasmabrenner sowie ein geeignetes Herstellungsverfahren vorzuschlagen, bei dem die Herstellungskosten bei gleichzeitiger Erhöhung der Lebensdauer reduziert werden können.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe mit einem Elektrodenelement, das die Merkmale des Anspruchs 1 aufweist und einem Verfahren zur Herstellung gemäß Anspruch 13, gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungsformen und Weiterbildungen der Erfindung können mit den in den untergeordneten Ansprüchen bezeichneten Merkmalen erreicht werden.

Das erfindungsgemäße Elektrodenelement für die in Rede stehenden Plasmabrenner weist mindestens einen Kern aus einem Metall oder einer Metall-Legierung mit kleinerer Austrittsarbeit als ein Metall oder eine Metalllegierung, aus dem/der ein den mindestens einen Kern einfassendes Mantelteil gebildet ist, wobei der eine bzw. auch mehrere Kern(e) die eigentliche als Katode geschaltete Elektrode bilden.

Zwischen den unterschiedlichen Materialien, also der Kernoberfläche und dem Mantelteil ist in einer erfinderischen Alternative eine in gradiertem Form ausgebildete Grenzschicht vorhanden, die aus Mischkristallen der jeweiligen Metalle bzw. Metall-Legierungen gebildet ist.

In einer zweiten Alternative für ein erfindungsgemäßes Elektrodenelement ist eine Zwischenschicht zwischen der Kernoberfläche und dem Mantelteilmaterial aus einem weiteren Metall oder einer Metall-Legierung mit größerer Austrittsarbeit, als der des Kernmaterials ausgebildet, wobei die Zwischenschicht in Richtung Kern und Mantelteil jeweils einen gradierten Übergang in Form von entsprechend ausgebildeten Grenzschichten bildet.

Als besonders geeignetes Material für den Kern kann Hafnium bzw. eine Hafniumlegierung eingesetzt werden, wobei der Anteil von Legierungskomponenten relativ klein gehalten werden sollte.

Neben dem Hafnium bzw. dessen Legierungen können aber auch Wolfram, Zirkonium oder Tantal bzw. Legierungen dieser Elemente als Kernmaterialien eingesetzt werden.

Ein bevorzugtes Material für das Mantelteil ist Kupfer bzw. eine Kupferlegierung.

Die Zwischenschicht kann wiederum aus Silber oder einer Silberlegierung ausgebildet werden.

Die erfindungsgemäß bei einem Elektrodenelement vorhandenen Grenzschichten, die jeweils gradierte Übergänge der unterschiedlichen Materialien bilden, sind

bei den aus dem Stand der Technik bekannten Lösungen, wie z.B. bei der in EP 0 980 197 A2 beschriebenen nicht vorhanden, da dies konstruktiv und herstellungsbedingt nicht möglich ist.

Überraschenderweise hat sich herausgestellt, dass die erfindungsgemäßen Elektrodenelemente einfach und kostengünstig durch ein Formgebungs- und/oder Fügeverfahren bei Ausnutzung von Druckkräften (Presskräften) hergestellt werden können, wobei die entsprechenden Grenzschichten mit den gradierten Übergängen ohne zusätzliche technologische Verfahrensschritte ausgebildet werden können. Besonders geeignete Verfahren sind das Strang- oder das heißisostatische Pressen.

So ist die Ausbildung von Mischkristallen in einer Grenzschicht zwischen den bezeichneten Kern- und Mantelteilmaterialien (z.B. Cu und Hf) nicht ohne weiteres zu erwarten gewesen, da die Differenz zwischen den jeweiligen Schmelztemperaturen der beiden hierfür eingesetzten Metalle erheblich ist und bei ca. 1000 °K liegt. Bei der erfindungsgemäßen Lösung können bei Verzicht einer Zwischenschicht gemäß einer Alternative eines erfindungsgemäßen Elektrodenelementes Mischkristalle aus Kupfer und Hafnium gebildet werden, so dass ein gradiertter Übergang, insbesondere für die elektrische- und die thermische Leitfähigkeit nicht nur punktuell, sondern über die gesamte zu verfügende Fläche erreicht werden kann.

Als Vorprodukte für den einen oder auch mehrere Kern(e), das Mantelteil und/oder eine Zwischenschicht können entsprechende stab-, draht- oder hülsenförmige Elemente aus den jeweiligen Metallen bzw. Metall-Legierungen eingesetzt werden, die dann mittels Strangpressen zu einem erfindungsgemäßen Elektro-

denelement verformt werden.

Es besteht aber auch die Möglichkeit, für diese Elemente das jeweilige Metall bzw. die Metall-Legierung in Pulverform einzusetzen. Insbesondere für die Ausbildung der Zwischenschicht ist die Verwendung von pulverförmigen, beispielsweise Silber besonders günstig. So kann der Zwischenraum zwischen einem hülsenförmigen Kupferteil und mindestens einem den Kern bildenden stab- bzw. drahtförmigen Element mit einem Silberpulver befüllt werden und sich die entsprechende Zwischenschicht mit einem jeweiligen gradierten Übergang in Richtung Kernoberfläche und in Richtung Mantelteil infolge der beim Strangpressen wirkenden Druckkräfte ausbilden kann. In den Grenzsichten wird ein durch die einzelnen Körner des Pulverausgangsmaterials erreichbare Mischzone aus den jeweiligen beiden Metallen bzw. Metall-Legierungen ausgebildet, die über die gesamte zur Verfügung stehende Fläche homogen ist.

Eine andere Möglichkeit besteht darin, für Kern und Mantelteil ebenfalls entsprechende Pulver einzusetzen. Die verwendeten Ausgangspulver können dann mittels eines Pressverfahrens, bevorzugt durch kaltsostatisches Pressen jeweils einzeln bzw. sukzessive nacheinander zu Vorprodukten, die für eine für das nachfolgende Strangpressverfahren eine ausreichende Festigkeit gewährleisten, hergestellt und nachfolgend durch Strangpressen ein erfindungsgemäßes Elektrodenelement ausgebildet werden.

Für den einen oder auch mehrere Kern(e) können als Vorprodukt stabförmige einen kreisförmigen Querschnitt aufweisende Elemente eingesetzt werden.

Es besteht aber auch die Möglichkeit, solche Elemente mit kreisförmigen Querschnitten einzusetzen, die im Inneren hohl und demzufolge hülsenförmig ausgebildet sind. Dieser Hohlraum kann dann wiederum mit einem  
5 Pulver eines Metalles bzw. einer Metall-Legierung, das/die eine höhere Austrittsarbeit als das Kernmaterial aufweist, vor dem Strangpressen befüllt werden.

10 Zur Ausbildung der die eigentlichen Elektroden bildenden Kerne können aber auch Elemente, deren Querschnitte sternförmig sind, eingesetzt werden. Ein solches sternförmiges Element kann dann drei oder auch mehrere Stege, die jeweils in gleichen Winkelab-  
15 ständen zueinander ausgerichtet sind, aufweisen und es ist dadurch eine Vergrößerung der jeweiligen Übergangsflächen mit den damit verbundenen niedrigen elektrischen und thermischen Übergangswiderständen zwischen Kern und Mantelteil bzw. Zwischenschicht erreichbar.

20 Ein Kern kann aber auch aus mehreren drahtförmigen miteinander verdrehten Elementen gebildet sein, ähnlich wie bei elektrischen Leitungen häufig verwendete Litzen. Ein so durch Verdrehung von drahtförmigen Elementen gebildeter Kern vergrößert ebenfalls die Berührungsfläche und gleichzeitig den vorteilhaften Gradierungseffekt.

30 Sollen bei einem erfindungsgemäßen Elektrodenelement mehrere Kerne vorhanden sein, so ist es vorteilhaft diese diskret und äquidistant zueinander anzuordnen, wobei sie jeweils in das Mantelteilmaterial, gegebenenfalls unter Zwischenschaltung einer Zwischen-  
35 schicht eingebettet sind.

Vorteilhafterweise sollte vor dem Strangpressen eine

11

Vorwärmung auf eine Temperatur von mindestens 400 °C durchgeführt werden, um insbesondere die Beanspruchung des Strangpresswerkzeuges zu reduzieren. Eine solche Vorwärmung wirkt sich aber auch günstig auf die Mischkristallbildung bzw. Diffusionsvorgänge aus, die so mit großer Sicherheit bei den gleichzeitig wirkenden relativ hohen Druckkräften während des Strangpressens erfolgen kann. Ein erfindungsgemäßes Elektrodenelement weist durch den innigeren Verbund mit den gradierten Übergängen der verschiedenen Metalle bzw. Metall-Legierungen der einzelnen Elemente niedrige thermische und elektrische Übergangswiderstände auf, so dass dem Problem der Stromkorrosion entgegen gewirkt und die Lebensdauer deutlich erhöht werden kann. Demzufolge sind nicht nur die Herstellungskosten für die Elektrodenelemente an sich, sondern auch die Betriebskosten eines entsprechend ausgestatteten Plasmabrenners beim Endnutzer deutlich reduziert.

Auch die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Elektrodenelemente, bei denen Zwischenschichten aus Silber bzw. Silberlegierungen eingesetzt werden, können kostengünstiger hergestellt werden, da solche Zwischenschichten mit deutlich geringerer Schichtdicke ausgebildet werden können, so dass der kostenintensive Silbereinsatz entsprechend verringert werden kann.

Wie bereits angedeutet, kann ein hülsenförmiges Kupferelement für die Ausbildung eines Mantelteiles Verwendung finden. Dabei kann mindestens ein stabförmiges Element aus beispielsweise Hafnium über die gesamte Länge der Kupferhülse reichend, in deren Inneres eingeführt werden. Dabei kann eine solche Kupferhülse einen Außendurchmesser von beispielsweise

12 mm und der freie Querschnitt im Inneren einer solchen Kupferhülse einen Durchmesser von 1,5 mm aufweisen. Nach einer entsprechenden Vorwärmung wird dann durch Strangpressen ein Profil für erfindungsgemäße Elektrodenelemente hergestellt, das lediglich noch auf Länge geschnitten werden muss und weitere Füge- und Montageprozesse nicht mehr erforderlich sind. Ein so erhaltenes Elektrodenelement muss dann nur noch in einen entsprechenden Plasmabrenner eingesetzt werden, wobei ein solcher Plasmabrenner auch so ausgebildet werden kann, dass ein gewisser, im Inneren eines Plasmabrenners angeordneter Teil eines solchen Elektrodenelementes von einem Kühlmedium zum Abführen von Wärme unmittelbar umströmt werden kann.

Anstelle eines stabförmigen Hafniumelementes können aber auch mehrere, bevorzugt miteinander verdrehte Hafniumdrähte in eine solche Kupferhülse eingeführt werden, wobei Kupferhülseinnendurchmesser und die größte Ausdehnung eines solchen Kernvorelementes so dimensioniert sein sollten, dass ein mit einem Silberpulver bzw. einer Silberpulverlegierung befüllbarer Zwischenraum verbleibt.

Ein solches eine Zwischenschicht bildendes Silberpulver sollte möglichst auch eingesetzt werden, wenn ein Kern mit einer nicht rotationssymmetrischen Querschnittsform oder ein hülsenförmiger Kern ausgebildet werden sollen.

Es besteht aber auch die Möglichkeit, beispielsweise ein stabförmiges Element aus Hafnium an seiner äußeren Oberfläche in Richtung zum Mantelteilmaterial mit einer im Wesentlichen aus Silberpulver gebildeten Schicht zu versehen. Ein solches Pulver kann beispielsweise in Form einer Suspension aufgebracht und

beispielsweise durch ein Pressverfahren auf der Oberfläche des stabförmigen Hafniumelementes verfestigt oder einer Sinterung unterzogen werden. Im letztgenannten Fall kann dann in der das Silberpulver enthaltenden Suspension auch ein organischer Binder enthalten sein, der thermisch beim Sintern ausgetrieben werden kann.

Ein mit einer solchen Silberschicht versehenes stabförmiges Element kann dann wieder in ein hülsenförmiges Kupferelement eingeführt und ein erfindungsgemäßes Elektrodenelement durch Strangpressen hergestellt werden.

Das erfindungsgemäße Elektrodenelement kann aber auch dahingehend weitergebildet werden, indem durch Ausbildung einer entsprechenden Kontur, wobei bevorzugt ein Außengewinde gewählt werden kann, dieses mit einem hülsenförmigen Element verbinden zu können. Ein solches hülsenförmiges Element, das bevorzugt aus Kupfer besteht, kann dann mehrfach wieder verwendet werden und es ist so lediglich ein Austausch des entsprechend kleiner dimensionierten Elektrodenelementes in mehr oder weniger großen Abständen erforderlich. Dabei wird das Elektrodenelement mit dem an seiner äußeren Mantelfläche ausgebildeten Gewinde, als eine Konturform einfach in ein hülsenförmiges Element herein- bzw. herausgeschraubt.

Da, wie im allgemeinen Teil der Beschreibung bereits erwähnt, eine hohe thermische Belastung auftritt und eine intensive Kühlung erforderlich ist, kann das erfindungsgemäße Element auch so ausgebildet und hergestellt werden, dass innerhalb des Mantelteiles ein einseitig offener Hohlraum ausgebildet worden ist. Dieser Hohlraum kann mit dem Füllsystem eines Plas-

mabrenners in Verbindung gesetzt werden, so dass das Kühlmedium, bevorzugt Wasser für die Wärmeabfuhr unmittelbar in diesen Hohlraum gelangen kann.

5      Vorteilhaft kann die Ausbildung eines solchen Hohl-  
raumes durch ein Rückwärtsfließpressen ausgebildet  
werden. Mit diesem Verfahren kann ebenfalls eine zer-  
spanende Bearbeitung vermieden werden. Das Rückwärts-  
10      fließpressen ist ein nachfolgender Verarbeitungs-  
schritt an einem Elektrodenelement, dessen Herstel-  
lung vorab beschrieben worden ist. Dabei wird ein  
Elektrodenelement, als Vorprodukt hergestellt, das in  
seiner Länge kürzer als das fertige Elektrodenelement  
15      mit dem Hohlraum und in seinem äußeren Durchmesser  
größer als dieses gehalten ist. Beim Rückwärtsfließ-  
pressen wird ein Werkzeug mit einem die Form und Grö-  
ße des jeweiligen Hohlraumes vorgebenden Dornes ver-  
wendet und wegen der deutlich höheren Fließfähigkeit  
nahezu ausschließlich das Kupfermantelteil verformt  
20      wird.

FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

01/37460-EPW

## Patentansprüche

- 5
1. Elektrodenelement für Plasmabrenner,  
bei dem mindestens ein die eigentliche als Kato-  
de geschaltete Elektrode bildender Kern aus ei-  
nem Metall oder einer Metall-Legierung mit klei-  
nerer Austrittsarbeit von einem Mantelteil aus  
10 einem Metall oder einer Metall-Legierung mit  
größerer Austrittsarbeit und Wärmeleitfähigkeit  
eingefasst ist,  
dadurch gekennzeichnet, dass die Grenzschicht  
15 zwischen Kernoberfläche und Mantelteil in gra-  
dierter Form aus Mischkristallen der beiden Me-  
talle oder Metalllegierungen gebildet ist oder  
eine aus einem weiteren Metall oder einer Me-  
talllegierung mit größerer Austrittsarbeit, als  
20 der des Kernmaterials gebildete Zwischenschicht  
zur Kernoberfläche und zum Mantelteil jeweils  
mit ihren Grenzschichten einen gradierten Über-  
gang bildet.
2. Elektrodenelement nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass der Kern aus Hafni-  
um oder einer Hafniumlegierung gebildet ist.
3. Elektrodenelement nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass der Kern aus Wolf-  
ram, Zirkonium oder Tantal oder einer Legierung  
30 dieser Elemente gebildet ist.
4. Elektrodenelement nach einem der vorhergehenden  
Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Man-

telteil aus Kupfer oder einer Kupferlegierung gebildet ist.

5. Elektrodenelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Zwischenschicht aus Silber oder einer Silberlegierung gebildet ist.
6. Elektrodenelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Kern stabförmig mit einem kreisförmigen Querschnitt ausgebildet ist.
7. Elektrodenelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Kern aus mehreren drahtförmigen, miteinander verdrehten Elementen gebildet ist.
8. Elektrodenelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Kern einen sternförmigen, kreisringförmigen Querschnitt aufweist oder der Querschnitt in Kreuzform ausgebildet ist.
9. Elektrodenelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere separat angeordnete Kerne die Elektrode bilden.
10. Elektrodenelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Zwischenschicht aus einem Pulver gebildet ist.
11. Elektrodenelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass innerhalb des Mantelteiles ein einseitig offener Hohlraum, der mit einer Kühlung verbunden ist, ausgebildet ist.

12. Elektrodenenelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Elektrodenenelement mit einem hülsenförmigen Teil aus Kupfer austauschbar verbunden ist.

5 13. Verfahren zur Herstellung eines Elektrodenenelementes für Plasmabrenner, dadurch gekennzeichnet, dass das Elektrodenenelement unter Druckkraftausübung mit einem Formgebungs- und/oder Fügeverfahren in Form eines ein Mantelteil bildenden hülsenförmigen Teiles aus einem Metall oder einer Metalllegierung mit höherer Austrittsarbeit und höherer thermischer und elektrischer Leitfähigkeit, in das mindestens ein die eigentliche als Katode geschaltete Elektrode bildendes Kernelement aus einem Metall oder einer Metalllegierung mit niedrigerer Austrittsarbeit eingeführt worden ist, hergestellt wird.

10 14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Elektrodenenelement durch Strang- oder heißisostatisches Pressen hergestellt wird.

15 15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, dass eine Vorwärmung auf mindestens 400 °C vor dem Strangpressen durchgeführt wird.

20 16. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass vor dem Strangpressen der Hohlraum zwischen hülsenförmigen Teil und Kernelement zur Ausbildung einer Zwischenschicht mit einem weiteren pulverförmigen Metall oder einer Metalllegierung, das/die eine höhere Austrittsarbeit, thermische und elektrische

25 30

Leitfähigkeit als das Kernmaterial aufweist, befüllt wird.

5 17. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass zur Ausbildung eines Kernes mehrere drahtförmige Elemente miteinander verdreht werden.

10 18. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass der Hohlraum eines in Hülsenform ausgebildeten Kernelementes vor dem Strangpressen mit einem Pulver eines Metalles oder einer Metalllegierung, die eine höhere Austrittsarbeit als das Kernmaterial aufweist, befüllt wird.

15 19. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass Mantelteil, Kern und/oder Zwischenschicht aus einem Pulver mittels eines Pressverfahrens jeweils ein oder ein gemeinsames Vorprodukt bilden und aus einem oder mehreren Vorprodukt(en) durch Strangpressen das Elektrodenelement hergestellt wird.

20 20. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass das/die Vorprodukt(e) durch kaltsostatisches Pressen hergestellt werden.

25 21. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass auf der äußeren Mantelfläche des Mantelteils für eine formschlüssige Verbindung mit einem hülsenförmigen Kupferteil eine Kontur ausgebildet wird.

30 22. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass innerhalb des Mantelteiles durch Rückwärtsfließpressen ein einseitig offener Hohlraum ausgebildet wird.

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS.
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**